

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-167354

(43)Date of publication of application : 13.06.2003

(51)Int.Cl.

G03F 7/20
B23K 26/00
C03C 23/00

(21)Application number : 2001-365320

(71)Applicant : MAKIMURA TETSUYA

(22)Date of filing : 29.11.2001

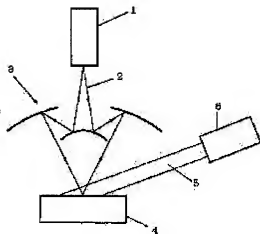
(72)Inventor : MAKIMURA TETSUYA

(54) OPTICAL FABRICATION DEVICE AND OPTICAL FABRICATION METHOD FOR FABRICATION OF INORGANIC TRANSPARENT MATERIAL BY LIGHT-PATTERNING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To achieve two-dimensional or three-dimensional fabrication of an inorganic transparent material with 10 nm accuracy.

SOLUTION: Soft X-rays 2 emitted from a soft X-ray source 1 are condensed on an inorganic transparent material 4 in a prescribed pattern through an optical system 3 comprising a combination of a convex mirror and concave mirrors, new absorption is generated only in the irradiated portion of the transparent material 4 and the transparent material 4 is irradiated with laser light 5 for fabrication to absorb the visible or ultraviolet laser light 5 with high energy density only in the patterned portion of the transparent material 4, thereby achieving fabrication of the transparent material 4.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

25.10.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3683851

[Date of registration]

03.06.2005

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-167354

(P2003-167354A)

(43) 公開日 平成15年6月13日 (2003. 6. 13)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	サーチコード ^(参考)
G 0 3 F 7/20	5 0 1	G 0 3 F 7/20	5 0 1 2 H 0 9 7
B 2 3 K 26/00		B 2 3 K 26/00	G 4 E 0 6 8
C 0 3 C 23/00		C 0 3 C 23/00	D 4 G 0 5 9

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 7 頁)

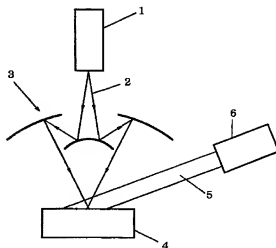
(21) 出願番号	特願2001-365320(P2001-365320)	(71) 出願人	301069236 牧村 哲也 茨城県つくば市並木 2 丁目126-203
(22) 出願日	平成13年11月29日 (2001. 11. 29)	(72) 発明者	牧村 哲也 茨城県つくば市並木 2 丁目126-203
		(74) 代理人	100110179 弁理士 光田 敦 F ターム (参考) 2H097 CA15 CA17 CB04 LA17 4ED68 AA05 CA01 CA04 CA09 CD02 CD06 CD10 CE01 DB13 4C059 AA11 AB05 AB19 AC30

(54) 【発明の名称】 光パターンニングにより無機透明材料を加工する光加工装置及び光加工方法

(57) 【要約】

【課題】 無機透明材料を10nmの精度で2次元又は3次元加工する。

【解決手段】 軟X線源1から放射される軟X線2を、凸面鏡と凹面鏡の組み合わせから成る光学系3により所定のパターンで無機透明材料4に集光して照射し、無機透明材料4の照射部分のみに新たな吸収を生じさせ、これに加工用のレーザー光5を照射することにより、パターンニングした無機透明材料4の部分のみに高エネルギー密度の可視又は紫外の加工用のレーザー光5を吸収させて無機透明材料4を加工する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 パターンニング用光源と、パターン化照射手段と、加工用光源とを備えた光加工装置であって、上記パターンニング光源は、無機透明材料が実効的に光吸収を生じるのに十分波長が短い光を発生させるものであり、

上記パターン化照射手段は、上記パターンニング光を加工すべき形状に合わせた所定のパターンで無機透明材料に照射し、該無機透明材料を上記所定のパターンで上記パターンニング光を照射した部分のみ局在化した励起子を生

成し、上記励起子を起源とする新たな光吸収を発生させるものであり、
上記加工用光源は、加工用のレーザー光を上記無機透明材料に照射し、上記無機透明材料に光吸収が発生した部分のみに上記加工用レーザー光を吸収させて、上記無機透明材料を加工することを特徴とする光加工装置。

【請求項2】 上記パターンニング光源は、該無機透明材料のバンドギャップより大きな光子エネルギー、裾野状態への励起に対応する光子エネルギー、又は励起子を直接励起するのに対応する光子エネルギーを持つ紫外から軟X線までの波長の光を発生するものであることを特徴とする請求項1記載の光加工装置。

【請求項3】 上記パターン化照射手段は、集光光学系により無機透明材料に集光し、無機透明材料を保持するステージを走査することにより、パターンニングを行なう手段であることを特徴とする請求1又は2記載の光加工装置。

【請求項4】 上記パターン化照射手段は、結像光学系により上記パターンを上記無機透明材料に転写する手段であることを特徴とする請求項1又は2記載の光加工装置。

【請求項5】 上記パターン化照射手段は、無機透明材料の表面にコンタクトマスクを配置して、このコンタクトマスクのスリットを通してパターンニング光を上記無機透明材料に照射する手段であることを特徴とする請求項1又は2記載の光加工装置。

【請求項6】 上記パターン化照射手段は、パターンニング光を走査鏡を介して上記無機透明材料に上記パターンで走査して照射する手段であることを特徴とする請求項1又は2記載の光加工装置。

【請求項7】 上記パターンニング用光源は、レーザープラズマ軟X線源であることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の光加工装置。

【請求項8】 紫外光ないし軟X線を、加工すべき所定の形状に合わせた所定のパターンで無機透明材料に照射して光吸収を発生させるとともに、加工用のレーザー光を上記無機透明材料に照射することにより、上記所定のパターンで吸収を発生させた上記無機透明材料の部分のみに上記加工用のレーザー光を吸収させて加工することを特徴とする光加工方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、無機透明材料を微細に（数nmまでの精度で）加工する汎用性の高い光加工装置及び光加工法に関するものである。例えばフォトニッククリスタルや光導波路等の光学機能性部品、DNA分析や血液検査等のマイクロチップゲミストリーの分野等で利用される。

【0002】

【従来の技術】無機透明材料は、例えばフォトニッククリスタルや光導波路等の光材料、医療及びバイオテクノロジーにおける超微量な化学分析及び化学反応等の分野で利用価値が高く、無機透明材料の精度に優れ、低コストの加工や改質の技術が要請されている。

【0003】レーザー光を物質に直接照射し、照射面を剥ぎ取ることによって加工するレーザーアブレーションという技術は、炭酸ガスレーザーを用いた金属加工において既に実用化されている。最も微細化が進んでいる光リソグラフィに代表される光を用いた加工では、加工精度は加工に用いるレーザー光の波長で制限され、よくて100nmの程度である。より微細な加工を行なうためには、10nmの波長の光すなわち軟X線が必要となるが、コストが高くなる。

【0004】又、従来の光加工技術で無機透明材料を加工しようとしても、無機透明材料は無色であるからレーザー光を吸収しないため加工は困難である。

【0005】無機透明材料の光加工技術として既に知られている従来技術については次のとおりである。

(1) 被加工物を光増感膜質液に浸してレーザー加工を行なう技術が報告されているが、加工精度は波長の程度まで到達していない。

【0006】(2) 被加工物表面にレーザーアブレーションにより生成したレーザープラズマを接触させて、この部分に加工用レーザー光を照射すると、そのエネルギーを吸収したプラズマで被加工物が削り取られることが報告されている。しかしこの技術においても、加工精度は波長の程度まで到達していない。

【0007】(3) 二酸化珪素にF₂レーザーを照射すると非晶質性に変化する状態に吸収され、その状態で同時にKrF（クリプトンフッライド）レーザー光を強照射することにより、改質を行なえることが報告されている。この技術では、第一のレーザー光を吸収する状態が予め存在することが前提となり、汎用性が低い。

【0008】(4) 被加工物にフェムト秒レーザー光を照射し、同時に複数の光を吸収させる多光子吸収により透明な加工物でも吸収が起こり、切削や改質の加工が可能となるが、加工精度は波長程度までである。

【0009】(5) 被加工物の表面でフェムト秒レーザー光の2つのビームを干渉させ、数nmの干渉パターンで切削できることが報告されている。しかしながら切削

できるパターンは限られている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、無機透明材料を従来の加工技術のような問題点が生じることなく、10nmまでの精度で加工できる汎用性の高い加工技術を実現するものである。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は上記課題を解決するために、紫外光又は軟X線を放射するパターンニング光源と、パターン化照射手段と、加工用のレーザー光源とを備えた光加工装置であって、上記パターン化照射手段は、上記パターンニング光を、加工すべき形状に合わせた所定のパターンで無機透明材料に照射し、該無機透明材料を上記所定のパターンで上記パターンニング光を照射した部分に新たな光吸収を発生させるものであり、上記加工用のレーザー光源は、加工用のレーザー光を、上記無機透明材料に照射し、上記無機透明材料の上記吸収が発生した部分のみに上記加工用のレーザー光を吸収させて、上記無機透明材料を加工することを特徴とする光加工装置を提供する。

【0012】上記パターンニング光源は、該無機透明材料のバンドギャップより大きな光子エネルギー、裾野状態への励起に対応する光子エネルギー、又は励起子を直接励起するのに対応する光子エネルギーを持つ紫外から軟X線までの波長の光を発生するものであることを特徴とする。

【0013】上記パターン化照射手段は、集光光学系により無機透明材料に集光し、無機透明材料を保持するステージを走査することにより、パターンニングを行なう手段であることを特徴とする。

【0014】上記パターン化照射手段は、パターンニング光を走査鏡を介して上記無機透明材料に上記パターンで走査して照射する手段であることを特徴とする。

【0015】上記パターン化照射手段は、結像光学系により上記パターンを上記無機透明材料に転写する手段であることを特徴とする。

【0016】上記パターン化照射手段は、無機透明材料の表面にコンタクトマスクを配置して、このコンタクトマスクのスリットを通してパターンニング光を上記無機透明材料に照射する手段であることを特徴とする。

【0017】上記パターンニング光源は、ガスをターゲットとして用いたデブリのないレーザープラズマ軟X線であることを特徴とする。

【0018】本発明は上記課題を解決するために、パターンニング光を、加工すべき所定の形状に合わせた所定のパターンで無機透明材料に照射して新たな吸収を発生させるとともに、加工用のレーザー光を上記無機透明材料に照射することにより、上記所定のパターンで吸収を発生させた上記無機透明材料の部分のみに上記加工用のレーザー光を吸収させて加工することを特徴とする光加工

方法を提供する。

【0019】

【発明の実施の形態】本発明に係る無機透明材料を加工する光加工装置及び光加工方法の実施の形態を実施例に基づいて図面を参照して説明する。

【0020】本発明は、無機透明材料に10nmの精度で加工を行う加工装置及び加工方法であるが、まず、本発明の基本原理について説明する。無機透明材料は無色であるから光を吸収しにくいために、直接レーザー光を照射しても加工はできない。そして、上記のような従来技術を用いて加工を行おうとしても加工精度は波長程度までである。

【0021】本発明では、被加工物である無機透明材料にバンドギャップより大きな光子エネルギーを有するパターンニング用の光を照射すると、照射された領域のみが可視光ないし紫外光を吸収するような物性状態になる現象を利用するものである。即ち、物質にバンドギャップ以上の光子エネルギーを持つ光を照射すると、電子と正孔のペアが生成され、これらはクーロン力により束縛される。このような物質の状態は「励起子」という用語で呼ばれている。

【0022】無機透明材料、より正確にはイオン結合性材料中では、励起子はパターンニング光照射直後に生成され、その後直ちに極微細局所格子変形を伴って1格子定数程度の領域に局在化する。この局在化する励起子は特に自己捕獲励起子と呼ばれている。この局在化により加工精度が確保できる。

【0023】励起子は、クーロン力による束縛状態に起因する光吸収を示す。これは水素原子の1s状態から2p状態への光吸収に対応する。この光吸収はバンドギャップより光子エネルギーの小さな光に対して生じる。とりわけ、自己捕獲励起子の場合その差は大きい。これは即ち、無機透明材料の透明であった可視から紫外の波長領域に、新たに光吸収が生じることを意味する。これにより、コストや安定性等の面で有利なより波長の長い可視から紫外の波長領域の加工用レーザー光を吸収するようになり、容易に加工（切削、切断等の加工）や改質が可能となる。

【0024】上記自己捕獲励起子の吸収は、パターンニング光を照射した部分のみで生じ、従って波長の長い加工用レーザー光を用いて、軟X線の波長程度までの加工精度が確保できる点が重要である。更に、上記2つの自己捕獲励起子の特徴、即ち局在すること及び新たな吸収が生じることは、イオン結合性材料に普遍的な性質であり、従って本発明の汎用性は非常に高い。

【0025】なお、上記自己捕獲励起子の発生は過渡的現象であり、二酸化珪素に代表されるように、その後完全に初めの状態に回復する無機透明材料が多い。従って、加工用レーザー光を照射しなかった領域は加工された後に変質したりしない。この回復時間は、温度に依存す

る。従って、液体窒素温度や液体ヘリウム温度程度の低温で加工を行うと効率が増える。

【0026】本発明は上記原理を利用するものであり、まずパターンニング光を無機透明材料に加工すべき所定の形状になるようにパターン化して照射する。本明細書ではこのための手段を「パターンニング光照射化手段」と言う。具体的には、後述する走査ステージ、光学系、コンタクトマスク等を用いることができる。このパターンニング光照射化手段を用いてパターンニング光を無機透明材料に照射し、所定のパターンで励起子吸収を生じさせる。

【0027】次に、この無機透明材料に、励起子の吸収波長に合わせた加工用の光を照射し、パターン化された領域を加工（切削、切断等の加工）や改質する。

【0028】図1は、本発明の装置及び方法の基本的な構成を説明する図である。パターンニング光源1からパターンニング光2を発生させて凹面鏡及び凸面鏡を組み合わせて成る光学系3で集光させて、無機透明材料4に照射する。同時に、無機透明材料4に高エネルギー密度を有する加工用レーザー光5を加工用レーザー6から照射する。これにより、無機透明材料4のうち所定のパターンで過渡的に吸収を発生させた部分のみに、この可視又は紫外の加工用レーザー光5を吸収させて、無機透明材料4の加工（切削、切断等の加工）や改質が可能となる。

【0029】又、上記説明で無機透明材料にパターンニング光を加工すべき所定の形状に合わせたパターンになるようにパターン化照射手段を利用して照射する点を説明したが、パターン化照射手段としては、具体的には次のような構成が考えられる。

(1) パターンニング光を被加工物に集光照射し、無機透明材料を設置したステージを走査し、パターンニングする。

(2) 走査鏡等を介してパターンニング光を無機透明材料に集光照射し、走査することでパターンニングする。

(3) 無機透明材料の表面にコンタクトマスクを配置して、このコンタクトマスクのスリットを通してパターンニング光をパターン照射する。

(4) 結像光学系により所定のパターンを転写する。

【0030】（実施例）図2は、本発明に係る無機透明材料を加工する光加工装置及び光加工方法の実施例を説明する図である。この実施例は、レーザープラズマ軟X線を、無機透明材料の表面に所要のパターンで照射する装置及び方法であり、結像光学系又は集光光学系によりマスターパターンを転写する例である。

【0031】この実施例の装置は、パターンニング光源部7、パターン化照射手段部8、試料部9及び加工用レーザー10から構成される。パターンニング光源部7は、レーザープラズマ軟X線源部であり、フェムト秒レーザー11からのレーザー光を集光光学系12でXクラスタターゲット13に集光照射し、レーザープラズマ軟X線14を発生させる。

【0032】このレーザープラズマ軟X線14をパターンニング照射手段部8において、トロイダルミラー15でマスターパターン16に集光し、得られたパターンを凹面鏡及び凸面鏡を組み合わせて成る光学系17によりパターンニング光18として試料部9に導入する。パターンニング光18は、ステージ20（載置台）上に載置された無機透明材料19にパターンニングして照射され、これにより無機透明材料19に所定のパターンで過渡的に吸収を発生させる。

【0033】なお、パターンニングは、図2において、マスターパターン16として図示しないピンホールからなるマスターパターンを用い、光学系17として集光光学系を用いて無機透明材料19に集光し、無機透明材料19を支持するステージ20を可動な走査ステージとして走査する構成とすることにより実現できる。

【0034】又、パターンニングは、図2において、光学系17として結像光学系を用い、マスターパターンのパターンを無機透明材料19にパターン照射する構成でも実現できる。

【0035】他方、パターンニング光18を照射した無機透明材料19に、加工用レーザー10から加工用レーザー光21を照射する。この加工用レーザー光21は、高エネルギー密度を有する可視又は紫外のレーザー光が利用でき、この加工用レーザー光21を照射すると、上記所定のパターンで過渡的に吸収が発生した無機透明材料19の部分が加工用のレーザー光21を吸収し加工（切削、切断等の加工）や改質が行われる。

【0036】例えば、加工すべき無機透明材料19は、二酸化珪素ガラスとした。二酸化珪素自体は、8 eV以上のバンドギャップを有し、図2の装置で10 nm程度の軟X線のパターンニング光18を照射すると自己捕獲励起子が生成されて、軟X線照射後1 μ 秒の間3 eV（400 nm）の紫外光を吸収可能となり、これにより、加工（切削、切断等の加工）や改質を行うことが可能である。

【0037】図2においてパターンニング光源部7において、前述の通り、レーザープラズマ軟X線14を発生させたが、このレーザープラズマ軟X線14は、ターゲット13にフェムト秒レーザー11からレーザー光を照射してプラズマ化し、そのレーザープラズマから放出されるものである。ターゲット13としては、固体が用いることができる。その具体例を次の図3(a)で説明する。

【0038】この図3(a)は、パターンニング光源部としてレーザープラズマ軟X線光源を採用した模式図を示すが、このレーザープラズマ軟X線光源では、レーザー22からのレーザー光を光学系12で集光しターゲット23に照射してプラズマ化し、そのレーザープラズマから放出される軟X線24利用する。レーザー22としては、エキシマレーザー、Nd:YAGレーザー、（チタ

ンサファイア) フェムト秒レーザー等が用いられる。ターゲット23としては、スズ、タンタル、ハフニウム等の固体ターゲットが用いられる。

【0039】しかし、固体ターゲットを用いた場合、レーザー光照射時にターゲットからデブリが放出される。ここでデブリとは、1 μ m前後の大きさの液滴である。これは軟X線用の光学部品を汚すので、実用上問題となることがある。

【0040】そこで、固体ターゲットの代わりにXeクラスタターゲットを用いた装置の発明が特開平2001-68296で出願されている。この場合、レーザープラズマ軟X線光源は、レーザー光源からフェムト秒レーザー光をXe(キセノン)クラスタターゲットに集光して照射することで実現される。この結果生成されたプラズマからは、2.5nm以下で500eV以上の高輝度軟X線が得られる。

【0041】上記出願済みの発明に係る軟X線光源は、デブリがないデブリフリーの実用的なレーザープラズマ軟X線源である。このレーザープラズマ軟X線源により得られるデブリフリーなレーザープラズマ軟X線を本発明の軟X線光源として利用すれば、凹面鏡等の光学系15、17の汚れが防止できメンテナンスフリーとなる。

【0042】図2において、加工用レーザー光21は無機透明材料19にパターンニング光18を照射したのと同じ面(正面側)から入射した。しかし、加工用レーザー光21は、パターンニング光18で吸収を生じさせていない部分は透過するので、必ずしも正面側から入射する必要はない。

【0043】図3(b)は、パターンニング光18を照射する正面側ではなく、無機透明材料19の背面側から加工用レーザー光21を入射する例を示す模式図である。図3(b)において、透過孔25を有するステージ26上に載置した無機透明材料19に、その背面側に設けた加工用レーザー10から加工用レーザー光21を照射する構成である。

【0044】さらには、加工用レーザー光21とパターンニング光18のビームの重なり合いを制御することにより、3次元の加工が可能となる。

【0045】本発明では、上述のとおり図1、2において、無機透明材料4、19のパターンニングされた部分に加工用のレーザー光5、21を照射すれば吸収されて加工が可能である。その場合、吸収が発生していない部分も含め加工用のレーザー光5、21を照射してもよいし、逆にパターンニング部分と同じ部分若しくはより狭い

部分に加工用のレーザー光5、21を照射して加工行ってもよい。

【0046】以上、本発明に係る光加工装置及び光加工方法の実施形態を実施例に基づいて説明したが、本発明は、特にこのような実施例に限定されることなく、特許請求の範囲記載の技術的事項の範囲内でいろいろな実施例があることはいうまでもない。なお、以上の発明では、無機透明材料の加工について述べたが、非透明材料の加工についても応用できることは言うまでもない。

【0047】

【発明の効果】以上の構成からなる本発明によれば、高エネルギー密度を確保することは技術的にもコスト的にも困難であるが、10nm程度までの高い空間分解能を有する軟X線で過渡的に無機透明材料にパターンニングして紫外若しくは可視の吸収を生じさせることができ、更に高エネルギー密度を確保できる上記吸収に波長が合う加工用のレーザー光を照射することで、無機透明材料のパターン化した領域のみが加工できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の装置及び方法の基本的な構成を説明する図である。

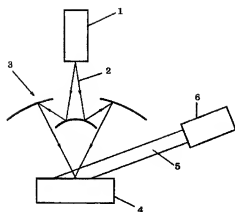
【図2】本発明の実施例を説明する図である。

【図3】(a)、(b)は、夫々本発明を技術的に展開した例を説明する模式図である。

【符号の説明】

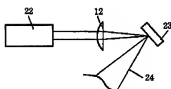
- 1 パターンニング光源
- 2、18 パターンニング光
- 3、17 光学系
- 4、19 無機透明材料
- 5、21 加工用レーザー光
- 6、10 加工用レーザー
- 7 パターンニング光源部
- 8 パターン化照射手段部
- 9 試料部
- 11 フェムト秒レーザー
- 12 集光光学系
- 13 Xeクラスタターゲット
- 14 レーザープラズマ軟X線
- 15 トロイダルミラー
- 16 マスターパターン
- 20、26 ステージ
- 22 レーザー
- 23 ターゲット
- 24 軟X線
- 25 透過孔

【図1】

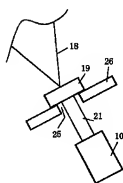


【図3】

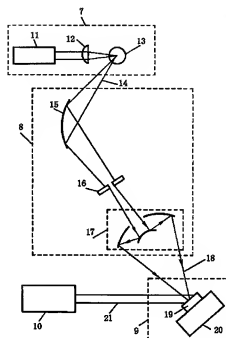
(a)



(b)



【図2】



【手続補正書】

【提出日】平成14年10月25日(2002.10.25)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正内容】

【0022】無機透明材料、より正確にはイオン結合性(電子格子相互作用の大きい)材料中では、励起子はバターニング光照射直後に生成され、その後直ちに極微細局所格子変形を伴って1格子定数程度の領域に局在化する。この局在化する励起子は特に自己捕獲励起子と呼ばれている。この局在化により加工精度が確保できる。